

## PENGARUH INTERFERENSI CAHAYA MATAHARI TERHADAP COVERAGE AREA PADA VISIBLE LIGHT COMMUNICATION

### *IMPACT OF SUNLIGHT INTERFERENCE TO COVERAGE AREA ON VISIBLE LIGHT COMMUNICATION*

Nidia Raihanah Isma<sup>1</sup>, Bambang Sumajudin<sup>2</sup>, Akhmad Hambali<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

[nidvarais@student.telkomuniversitymail.ac.id](mailto:nidvarais@student.telkomuniversitymail.ac.id), [bsuma737@gmail.com](mailto:bsuma737@gmail.com)

[ahambali@telkomuniversity.ac.id](mailto:ahambali@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

*Visible Light Communication (VLC)* menawarkan berbagai macam kelebihan, dari kecepatan transfer data, keamanan yang sangat baik karena menggunakan cahaya sebagai media rambatnya dan tidak menimbulkan radiasi yang mengganggu kesehatan manusia. Namun dalam proses nya, VLC dapat mengalami interferensi oleh cahaya sekitar, salah satunya cahaya matahari. Dalam upaya mengetahui pengaruh oleh adanya interferensi dari cahaya lain, pada penelitian ini meneliti tentang pengaruh interferensi cahaya lain pada daya kirim 4 Watt, 6 Watt, 8 Watt dengan asumsi interferensi sebesar 0% 40%, 60% dan 80% menggunakan modulasi *On Off Keying Non Return to Zero (OOK-NRZ)*. Hasil pengujian didapatkan interferensi dapat mempengaruhi nilai daya terima yang diperoleh yang menyebabkan distribusi *Signal Noise Ratio (SNR)* menjadi lebih kecil dan nilai *Bit Error Rate (BER)* menjadi lebih besar.

**Kata kunci:** *Visible Light Communication, Interferensi, Signal Noise Ratio, Bit Error Rate.*

#### Abstract

*Visible Light Communication as a technology that is currently being developed has many advantages given, data transfer speeds, and excellent security because it uses light as its media of interest. VLC also doesnt cause radiation that interferes with human health. But in the process, VLC can experience interference by ambient light, one of which is sunlight. In an effort to know the effect from interference because ambient light, in this study examines the influence of the interference of power transmitted 4 Watts, 6 Watts, 8 Watts with assumes interference as much 0%, 40%, 60%, 80% using On Off Keying Non Return to Zero modulation (OOK-NRZ). The results show that interference can affect the power received which causes the Signal Noise Ratio (SNR) distribution decreasing and the Bit Error Rate (BER) value to be increased.*

**Keywords:** *Visible Light Communication, Non-Line of Sight, Reflector, Blockage, Bit Error Rate*

#### 1. Pendahuluan

*Visible Light Communication (VLC)* menggunakan cahaya sebagai sinyal pembawa dengan kecepatan tinggi telah menjadi teknologi yang paling digunakan saat ini. *Light Emitting Diode (LED)* sebagai pemancar atau menjadi pengirim pada komunikasi nirkabel optik pada ruang tertutup, disisi lain kelebihan LED ialah dapat ditemui dikehidupan sehari – hari. LED sebagai *transmitter* dapat mengirimkan daya ke *receiver* dengan beberapa hal yang perlu diperhatikan, daya yang dikirimkan oleh LED dapat dipengaruhi oleh interferensi dari cahaya sekitar[1]. Pada tugas akhir ini dilakukan analisis tentang bagaimana pengaruh interferensi dari cahaya lain menggunakan modulasi OOK-NRZ pada kanal *Line Of Sight (LOS)* diruangan *indoor* dalam sistem VLC.

#### 2. Dasar Teori

##### 2.1. Visible Light Communication

*Visible Light Communication (VLC)* merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang menggunakan cahaya tampak sebagai pembawa informasi. Cahaya tampak *Visible Light* adalah radiasi elektromagnetik pada rentang panjang gelombang. Cahaya tampak memiliki keunggulan karena tidak hanya digunakan sebagai pencahayaan, namun juga dapat menjadi media penyampaian data atau informasi [2] Keunggulan utama dari cahaya tampak adalah bandwidth spektrum frekuensi dan panjang gelombang yang berkisar 430Thz(380 nm) sampai 750Thz(9750 nm) [3].

##### 2.2. LED

*Light Emitting Diode (LED)* merupakan komponen elektronika yang masuk kedalam jenis semikonduktur yang terdapat diode dibagian dalam LED, dimana diode dapat memancarkan cahaya jika dialiri arus listrik.

##### 2.3. Photodetector

*Photodetector* adalah jenis dioda yang berfungsi mendeteksi cahaya. Dimana, dioda ini dapat mengubah cahaya menjadi energi arus listrik. Resistansi dioda dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima *photodetector*[4]. *Photodetector* terdiri dari lapisan semikonduktor tipe-P dan tipe-N yang memiliki beberapa jenis bahan. Terdapat dua jenis *photodetector* yang digunakan pada komunikasi serat optik, yaitu *Positive-Intrinsic Negative (PIN) photodetector* dan *Avalanched Photo Diode (APD) photodetector*.

#### 2.4. Kanal Transmisi

Kanal Transmisi merupakan media elektrik yang menjembatani pengiriman informasi antara transmitter dan receiver. Pada penelitian, kanal yang digunakan ialah kanal *Line of Sight (LoS)* yang merupakan jenis kanal dimana antara *transmitter* dalam komunikasi cahaya *indoor LED* dan *receiver* yaitu *photodetector* tidak terdapat rintangan yang menghalangi. Distribusi sudut pada pola intensitas radiasi menggunakan persamaan Lambertian ( $m$ ) dengan theta atau FWHM yang bernilai  $50^\circ$

$$m = \frac{-\log_{10}(2)}{\log_{10}(\cos \Phi_{1/2})} \quad (1)$$

Persamaan kanal LOS dirumuskan :

$$H = \frac{(m + 1) \cdot A \cdot \cos^{m+1}(\Phi)}{2 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (2)$$

dengan ( $A$ ) merupakan area *photodetector* pada penerima, ( $d$ ) sebagai jarak penerima terhadap pengirim dan ( $\Phi$ ) adalah sudut propagasi dari pengirim dengan penerima. Daya terima pada *photodetector* didapatkan dengan

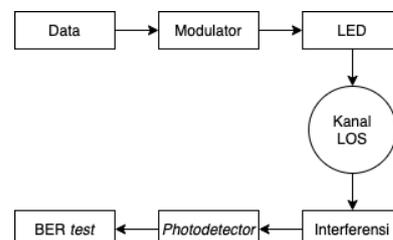
$$P_{rx} = P_{tot} \cdot H \cdot G_{con}, \quad (3)$$

#### 2.5. On Off Keying Non Return to Zero

*On-Off Keying (OOK)* merupakan modulasi paling sederhana. OOK dinyatakan dengan bit data 1 dan 0, jika bit data bernilai 1 memiliki pulsa optik pada suatu interval, atau bisa dinyatakan bahwa sumber cahaya *on*, sedangkan jika bit data bernilai 0 melambangkan tidak adanya pulsa optik pada suatu interval atau sumber cahaya dinyatakan *off*. Secara garis besar skema OOK dapat dianalogikan seperti saklar yang memiliki kondisi *on* dan *off*[2]. Skema *Non Return to Zero (NRZ)* menunjukkan saat bit 1 menempati seluruh interval bit, dan untuk bit 0 tidak memiliki pulsa yang digunakan. Untuk NRZ mudah dikodekan, serta menempati *bandwith* yang lebih kecil. Sistem komunikasi berkecepatan tinggi yang memiliki rentang sampai dengan 10 Gbps biasanya memakai NRZ sebagai teknik pemodulasinya[2].

### 3. Perancangan dan Simulasi Sistem

#### 3.1. Blok Diagram Sistem



Gambar 3. 1 Model Sistem VLC

Pada Gambar 3.1 pada sisi *transmitter* yang dirancang berfungsi sebagai sumber data informasi yang akan dikirim berupa sinyal dalam bentuk cahaya dan udara sebagai media rambatnya. Selanjutnya, dilakukan modulasi menggunakan modulasi OOK NRZ kemudian dikirimkan ke LED, sehingga LED dapat mentransmisikan cahaya melalui kanal menggunakan kanal LoS lalu sumber cahaya yang dipancarkan ditangkap oleh *photodetector* bertipe PIN yang berfungsi sebagai pengganti sinyal cahaya yang dikirimkan menjadi besaran listrik yang berperan untuk menerima data dan *photodetector* juga berfungsi sebagai deteksi sinyal gelombang cahaya yang telah melalui kanal untuk langsung diterima oleh user itu sendiri. Setelah melewati *photodetector* daya yang diterima *receiver* akan dihitung untuk mengetahui nilai BER.

#### 3.2. Desain Pengujian VLC

Pada simulasi sistem Tugas Akhir ini, memfokuskan pada spesifikasi daya LED, modulasi, kanal transmisi yang digunakan dan interferensi.

### 3.2.1 Spesifikasi LED

Pada Tugas Akhir ini menggunakan 4 buah lampu LED dengan posisi lampu pertama berada pada titik koordinat (-1.25,1.25,3) meter, posisi lampu kedua berada pada titik koordinat (-1.25,-1.25,3) meter, posisi ketiga berada pada titik koordinat (1.25,-1.25,3) meter, dan posisi keempat berada pada titik koordinat (1.25,1.25,3) meter dan 3 daya kirim total sebesar 4 Watt, 6 Watt, 8 Watt.

### 3.2.2 Kanal Transmisi

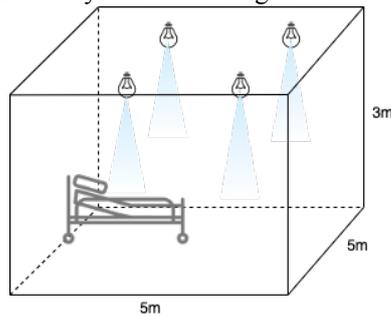
Kanal yang digunakan ialah kanal Line Of Sight (LOS) atau daya dapat langsung diterima oleh penerima.

### 3.2.3 Spesifikasi Photodetector

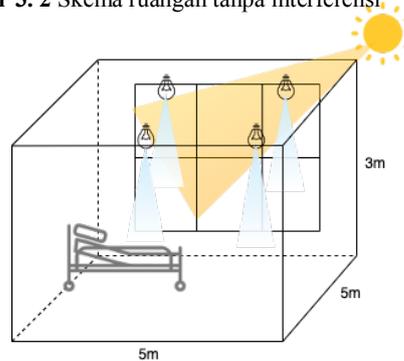
Penelitian ini menggunakan photodetector berjenis PIN *photodetector* tipe C3081EH karena tipe ini memiliki *Field Of View* (FOV) sebesar 70° dengan luas permukaan 1cm<sup>2</sup> dan *Responsivity* sebesar 0.55 A/W.

### 3.2.4 Skema Ruang

Pada penelitian sistem VLC di Tugas Akhir ini menggunakan 2 skenario ruangan seperti pada **Gambar 3.3** dan **Gambar 3.4** dengan interferensi cahaya matahari bertujuan untuk mengetahui nilai daya yang diterima karena mempengaruhi hasil SNR dan BER pada akhir penelitian. Pada Tugas Akhir ini, menggunakan interferensi cahaya matahari dengan asumsi sebesar 40%, 60%, 80%.



**Gambar 3.2** Skema ruangan tanpa interferensi.



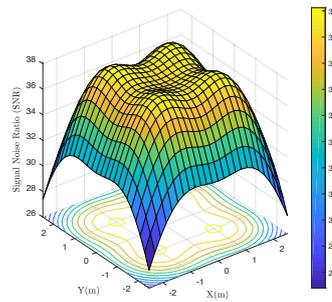
**Gambar 3.4** Skenario ruangan dengan interferensi

## 4. Hasil dan Analisis

Pada bab ini disajikan hasil perhitungan sistem VLC di ruangan berukuran 5m×5m×3m dengan menggunakan skenario tanpa interferensi dan ada interferensi. Skenario dilakukan dengan daya kirim *transmitter* sebesar 4 Watt, 6 Watt, 8 Watt dan asumsi interferensi cahaya matahari sebesar 40%, 60%, 80%. Hasil analisis berupa analisis SNR dan BER.

#### 4.1 Analisis Skenario I ( Tanpa Interferensi)

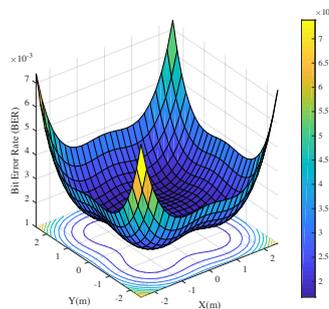
##### 4.1.1 Distribusi SNR dengan Daya kirim 4 Watt



**Gambar 4.1** Distribusi SNR dengan daya kirim 4 Watt

Gambar 4.1 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana, X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan dan sumbu Z merupakan distribusi SNR di ruangan dengan daya kirim 8 Watt. Pada keterangan color bar, semakin mendekati warna kuning menunjukkan nilai SNR semakin besar, jika semakin mendekati warna biru menyatakan bahwa nilai SNR semakin kecil. Jika nilai SNR sistem VLC semakin besar maka semakin baik performansi sistem VLC tersebut dan berlaku sebaliknya. Distribusi SNR maksimum sebesar 34,52 dB, sedangkan untuk nilai distribusi SNR minimum yaitu 23,84 dB.

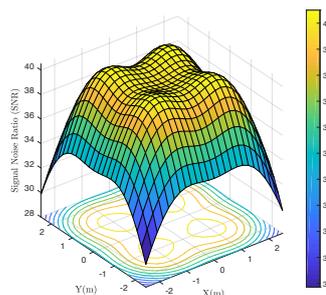
##### 4.1.2 Performansi Cakupan Luas Komunikasi BER dengan Daya kirim 4 Watt



**Gambar 4.2** Cakupan BER di ruangan dengan daya kirim 4 Watt

Gambar 4.2 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana sumbu X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan dan sumbu Z merupakan performansi cakupan BER pada daya kirim 4 Watt tanpa interferensi cahaya matahari dengan menggunakan modulasi OOK NRZ. Warna biru merepresentasikan semakin kecilnya nilai bit error sedangkan jika semakin mendekati warna kuning maka nilai bit error semakin besar. Hasil cakupan komunikasi yang diperoleh yaitu 25m<sup>2</sup>, untuk nilai BER terbesar yaitu  $7.38 \times 10^{-3}$  sedangkan untuk nilai BER terkecil yaitu  $1.68 \times 10^{-3}$ .

##### 4.1.3 Distribusi SNR dengan Daya kirim 6 Watt

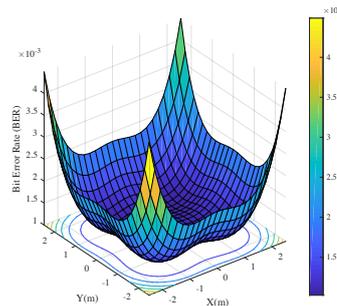


**Gambar 4.3** Distribusi SNR dengan daya kirim 6 Watt

Gambar 4.3 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana, X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan dan sumbu Z merupakan distribusi SNR di ruangan dengan daya kirim 6 Watt. Pada keterangan *color bar*, semakin mendekati warna

kuning menunjukkan nilai SNR semakin besar dan jika semakin mendekati warna biru menyatakan bahwa nilai SNR semakin kecil. Jika nilai SNR sistem VLC semakin besar maka semakin baik performansi sistem VLC tersebut dan berlaku sebaliknya. Distribusi SNR maksimum sebesar 38,12 dB, sedangkan untuk nilai distribusi SNR minimum yaitu 27,39 dB.

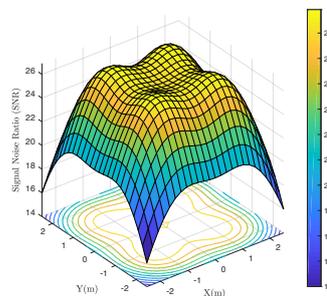
#### 4.1.4 Performansi Cakupan Luas Komunikasi BER dengan Daya Kirim 6 Watt



**Gambar 4.4** Cakupan BER di ruangan dengan daya kirim 6 Watt

Gambar 4.5 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana sumbu X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan dan sumbu Z merupakan performansi cakupan BER pada daya kirim 6 Watt tanpa interferensi cahaya matahari dengan menggunakan modulasi OOK NRZ. Warna biru merepresentasikan semakin kecilnya nilai bit error sedangkan jika semakin mendekati warna kuning maka nilai bit error semakin besar. Hasil cakupan komunikasi yang diperoleh yaitu 25m<sup>2</sup> dan untuk nilai BER terbesar yaitu  $4.49 \times 10^{-3}$  sedangkan untuk nilai BER terkecil yaitu  $1.03 \times 10^{-3}$ .

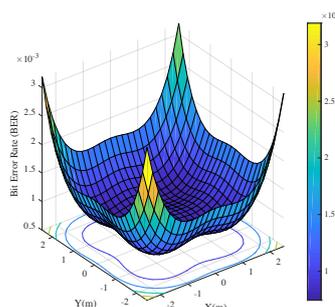
#### 4.1.5 Distribusi SNR dengan Daya kirim 8 Watt



**Gambar 4.5** Distribusi SNR dengan daya kirim 8 Watt

Gambar 4.5 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana, X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan dan sumbu Z merupakan distribusi SNR di ruangan dengan daya kirim 8 Watt. Pada keterangan *color bar*, semakin mendekati warna kuning menunjukkan nilai SNR semakin besar dan jika semakin mendekati warna biru menyatakan bahwa nilai SNR semakin kecil. Jika nilai SNR sistem VLC semakin besar maka semakin baik performansi sistem VLC tersebut dan berlaku sebaliknya, jika nilai SNR semakin kecil maka performansi sistem VLC semakin buruk. Distribusi SNR maksimum sebesar 40,49 dB, sedangkan untuk nilai distribusi SNR minimum yaitu 29,85 dB.

#### 4.1.6 Performansi Luas Cakupan BER dengan Daya Kirim 8 Watt

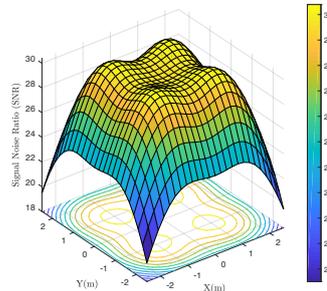


**Gambar 4.6** Grafik perbandingan BER terhadap jarak tanpa Interferensi

Gambar 4.6 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana sumbu X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan dan sumbu Z merupakan performansi cakupan BER pada daya kirim 8 Watt tanpa interferensi cahaya matahari dengan menggunakan modulasi OOK NRZ. Warna biru merepresentasikan semakin kecilnya nilai bit errorr sedangkan jika semakin mendekati warna kuning maka nilai bit error semakin besar. Hasil cakupan komunikasi yang diperoleh yaitu 25m<sup>2</sup> dan untuk nilai BER terbesar yaitu  $3.19 \times 10^{-3}$  sedangkan untuk nilai BER terkecil yaitu  $7.44 \times 10^{-4}$ .

**4.2 Analisis Skenario II ( Dengan Interferensi )**

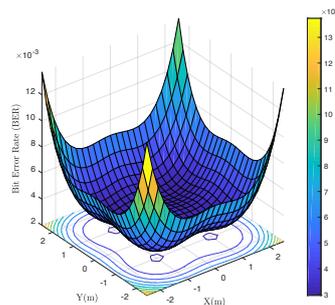
**4.1.7 Distribusi SNR dengan Daya Kirim 4 Watt 40%**



**Gambar 4.7** Distribusi SNR dengan daya kirim 4 Watt terhadap interferensi cahaya matahari sebesar 40%

Gambar 4.7 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana, X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan dan sumbu Z merupakan distribusi SNR di ruangan dengan daya kirim 4 Watt terhadap interferensi cahaya matahari sebesar 40%. Pada keterangan color bar, semakin mendekati warna kuning menunjukkan nilai SNR semakin besar dan jika semakin mendekati warna biru menyatakan bahwa nilai SNR semakin kecil. Jika nilai SNR sistem VLC semakin besar maka semakin baik performansi sistem VLC tersebut dan berlaku sebaliknya, jika nilai SNR semakin kecil maka performansi sistem VLC semakin buruk. Distribusi SNR maksimum sebesar 32,84 dB, sedangkan untuk nilai distribusi SNR minimum yaitu 21,98 dB.

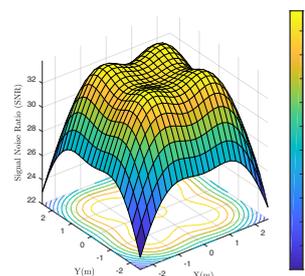
**4.1.8 Performansi Luas Cakupan BER dengan Daya Kirim 4 Watt terhadap Interferensi Cahaya Matahari 40%**



**Gambar 4.8** Cakupan BER di ruangan dengan daya kirim 4 Watt terhadap interferensi cahaya matahari sebesar 40%

Gambar 4.8 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana sumbu X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan. Hasil cakupan komunikasi yang diperoleh yaitu 25m<sup>2</sup> dan untuk nilai BER tertinggi sebesar  $9.62 \times 10^{-3}$  sedangkan untuk nilai BER terendah yaitu  $2.11 \times 10^{-3}$ .

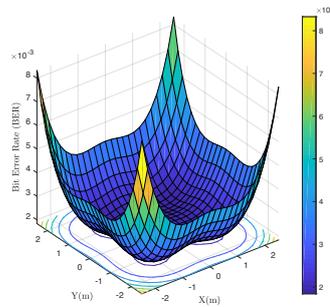
**4.1.9 Distribusi SNR dengan Daya Kirim 6 Watt 40%**



**Gambar 4.9** Distribusi SNR dengan daya kirim 6 Watt terhadap interferensi cahaya matahari sebesar 40%

Gambar 4.9 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana, X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan dan sumbu Z merupakan distribusi SNR di ruangan dengan daya kirim 6 Watt terhadap interferensi cahaya matahari sebesar 40%. Pada keterangan *color bar*, semakin mendekati warna kuning menunjukkan nilai SNR semakin besar dan jika semakin mendekati warna biru menyatakan bahwa nilai SNR semakin kecil. Jika nilai SNR sistem VLC semakin besar maka semakin baik performansi sistem VLC tersebut dan berlaku sebaliknya, jika nilai SNR semakin kecil maka performansi sistem VLC semakin buruk. Distribusi SNR maksimum sebesar 36,25 dB, sedangkan untuk nilai distribusi SNR minimum yaitu 25,47 dB.

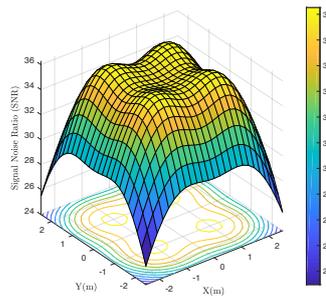
#### 4.1.10 Performansi Luas Cakupan BER dengan Daya Kirim 6 Watt terhadap Interferensi Cahaya Matahari 40%



**Gambar 4.10** Cakupan BER di ruangan dengan daya kirim 6 Watt terhadap interferensi cahaya matahari sebesar 40%

Gambar 4.10 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana sumbu X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan. Hasil cakupan komunikasi yang diperoleh yaitu  $25\text{m}^2$  dan untuk nilai BER tertinggi sebesar  $5.87 \times 10^{-3}$  sedangkan untuk nilai BER terendah yaitu  $1.32 \times 10^{-3}$ .

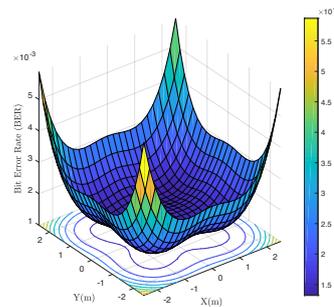
#### 4.1.11 Distribusi SNR dengan Daya Kirim 8 Watt 40%



**Gambar 4.11** Distribusi SNR dengan daya kirim 8 Watt terhadap interferensi cahaya matahari sebesar 40%

Gambar 4.11 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana, X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan dan sumbu Z merupakan distribusi SNR di ruangan dengan daya kirim 8 Watt terhadap interferensi cahaya matahari sebesar 40%. Pada keterangan *color bar*, semakin mendekati warna kuning menunjukkan nilai SNR semakin besar dan jika semakin mendekati warna biru menyatakan bahwa nilai SNR semakin kecil. Jika nilai SNR sistem VLC semakin besar maka semakin baik performansi sistem VLC tersebut dan berlaku sebaliknya, jika nilai SNR semakin kecil maka performansi sistem VLC semakin buruk. Distribusi SNR maksimum sebesar 38,65 dB, sedangkan untuk nilai distribusi SNR minimum yaitu 27,94 dB.

#### 4.1.12 Performansi Luas Cakupan BER dengan Daya Kirim 8 Watt terhadap Interferensi Cahaya Matahari 40%



**Gambar 4.12** Cakupan BER di ruangan dengan daya kirim 8 Watt terhadap interferensi cahaya matahari sebesar 40%

Gambar 4.14 merupakan hasil analisis yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Dimana sumbu X(m) dan Y(m) merupakan alas dari dimensi ruangan. Hasil cakupan komunikasi yang diperoleh yaitu 25m<sup>2</sup> dan untuk nilai BER tertinggi sebesar  $4.16 \times 10^{-3}$  sedangkan untuk nilai BER terendah yaitu  $9.55 \times 10^{-4}$ .

#### 5. Kesimpulan

Hasil akhir menunjukkan skenario I lebih baik dibanding skenario II saat interferensi dengan intensitas cahaya matahari sebesar 40%, 60%, 80%. Hal ini terbukti saat terkena interferensi nilai distribusi SNR pada daya kirim 4W menurun sebesar 4,86%, 11,96%, 22,01%, pada daya kirim 6W menurun sebesar 4,90%, 11,25%, 20,27% dan pada daya kirim 8W dengan 4,54%, 10,47%, 18,89%. Perbandingan nilai BER yang diperoleh untuk daya LED 4W, 6W, 8W antar skenario dengan intensitas cahaya matahari 40% yaitu 7,67%, 7,64%, 7,66%. Untuk intensitas cahaya matahari 60% sebesar 5,38%, 5,39%, 2,32%. Untuk intensitas cahaya matahari 80% sebesar 3,22%, 3,27%, 3,31%. Hal ini membuktikan interferensi meningkatkan nilai BER karena semakin besar interferensi cahaya matahari yang mengganggu maka nilai BER semakin meningkat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Dehghani Soltani, Mohammad. "Analysis of random orientation and user mobility in LiFi networks." (2019).
- [2]. Darlis, Arsyad Ramadhan, Lita Lidyawati, and Decy Nataliana. "Implementasi Visible Light Communication (VLC) Pada Sistem Komunikasi." *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika* 1.1 (2013): 13.
- [3]. Sajan, Liju, et al. "Wireless data transfer using visible light communication." *International Journal of Research in Engineering and Technology* 4.3 (2015): 52-55.
- [4]. Ghassemlooy, Zabih, et al. "Emerging optical wireless communications-advances and challenges." *IEEE journal on selected areas in communications* 33.9 (2015): 1738-1749.
- [5]. Alsalamy, Farah M., et al. "Indoor intruder tracking using visible light communications." *Sensors* 19.20 (2019): 4578.
- [6]. Alam, SM Jahangir, et al. "Bit error rate optimization in fiber optic communications." *International Journal of Machine Learning and Computing* 1.5 (2011): 435.
- [7]. Ghassemlooy, Zabih, Wasiu Popoola, and Sujun Rajbhandari. *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab®*. CRC press, 2019.